

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-160657

(43)Date of publication of application : 12.06.2001

(51)Int.Cl.

H01S 5/323
H01L 21/205
H01L 21/3065

(21)Application number : 11-342186

(71)Applicant : TOYODA GOSEI CO LTD

(22)Date of filing : 01.12.1999

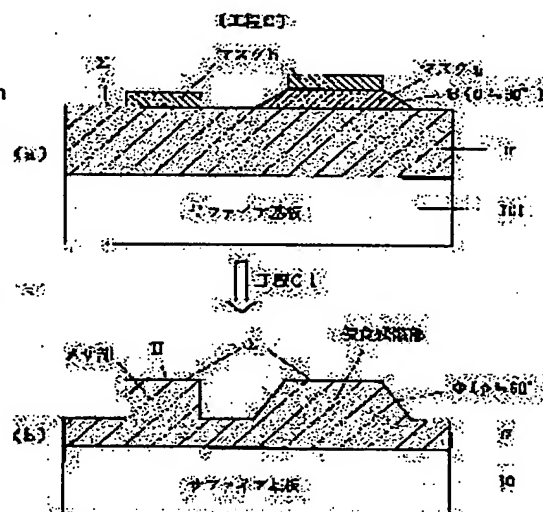
(72)Inventor : TEZENI YUUTA
KOIKE MASAYOSHI
YAMAZAKI SHIRO

(54) METHOD OF MANUFACTURING III NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently manufacture (mass-produce) a semiconductor laser which facilitates, stabilizes and ensures circuit connection and eliminates occurrences of failure, such as bad connection of a negative electrode, a tendency of high resistance and the like.

SOLUTION: An RIBE treatment was given from an uppermost surface S which is not covered with a mask (a) or a mask (b), to the extent of a portion of an n-type semiconductor layer 103. Such an etching treatment was carried out by supplying Ar gas and Cl₂ gas at 0.04 Torr vacuum and high-frequency power of 0.44 W/cm². Thereafter, the surface exposed by the etching was further subjected to dry etching using Ar gas. Through these dry etching processes, a vapor deposition surface of a negative electrode 107 corresponding to the layer 103 was exposed. The subsequent Ar etching was carried out as an after-treatment of the RIBE by the chlorine base gas. Then, the mask (a) and the mask (b) were removed by a solvent. Through such processes, a substantially vertically stood resonator and a taper having an inclination ϕ of about 60° were simultaneously formed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-160657

(P2001-160657A)

(43) 公開日 平成13年6月12日 (2001.6.12)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト (参考)
H 0 1 S 5/323		H 0 1 S 5/323	5 F 0 0 4
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	5 F 0 4 5
21/3065		21/302	J 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願平11-342186	(71) 出願人	000241463 豊田合成株式会社 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1 番地
(22) 出願日	平成11年12月1日 (1999.12.1)	(72) 発明者	手鎖 雄太 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1 番地 豊田合成株式会社内
		(72) 発明者	小池 正紘 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1 番地 豊田合成株式会社内
		(74) 代理人	100087723 弁理士 藤谷 修

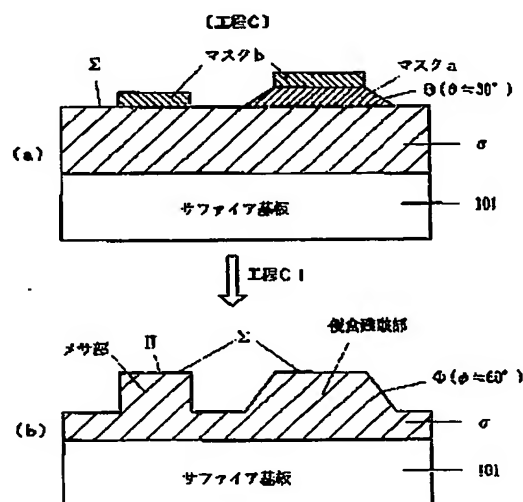
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 I I I 族窒化物系化合物半導体レーザの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 回路接続が容易、安定、かつ確実で、負電極の接続不良や高抵抗化等の不具合が発生する恐れが無い半導体レーザを効率よく製造（量産）する。

【解決手段】 マスク a、又はマスク b に覆われていない最上面 Σ より、n 型半導体層 103 の一部までを R I B E 処理した。本エッチング処理は、真空度 0.04 Torr、高周波電力 0.44W/cm² になる条件下で、Ar ガスと Cl₂ ガスを供給することにより実施した。その後、このエッチングによる露出面を更に、Ar ガスを用いてドライエッチングした。これらのドライエッチング工程で、n 型半導体層 103 に対する負電極 107 の蒸着面が露出された。後の Ar によるエッチングは、上記の塩素系ガスによる R I B E の後処理として行ったものである。その後、マスク a、及びマスク b を溶剤により除去した。以上の工程により、略垂直に立脚した共振器と傾斜角 ϕ が約 60° のテーパー部を同時に形成した。



(2)

特開2001-160657

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板の上に III族窒化物系化合物半導体から成る複数の半導体層を積層し、周辺部分をエッチングにより除去することにより形成された垂直で平頂な共振器と、前記エッチングの対象とされずに残された、傾斜角 ϕ ($0 < \phi < 90^\circ$) の傾斜面を有する侵食残骸部とを備えたフリップチップ型の半導体レーザの製造方法であって、

前記半導体層の最上面に、傾斜角 θ ($0 < \theta < 90^\circ$) の傾斜面 θ より構成されたテーパー状の周辺部を有するマスクaを形成する工程Aと、

前記最上面、及び/又は、前記マスクaの上面に、マスクbを形成する工程Bと、

前記マスクa及び前記マスクbを用いて前記半導体層をエッチングする工程Cとを順次実行することにより、前記共振器と前記侵食残骸部とを同じエッチング工程で同時に成形することを特徴とする III族窒化物系化合物半導体レーザの製造方法。

【請求項2】 前記共振器の最上面の高さと、前記侵食残骸部の最上面の高さとを略同じ高さに維持することを特徴とする請求項1に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザの製造方法。

【請求項3】 前記傾斜角 ϕ の正接に対する前記傾斜角 θ の正接の比 β と、前記工程Cでの前記エッチングにおける、前記半導体層の侵食進行速度 r に対する前記マスクaの侵食進行速度 R の比 γ とを略一致させることにより、

前記傾斜角 ϕ を所望の角度に制御することを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザの製造方法。

【請求項4】 前記 III族窒化物系化合物半導体は、 $In_xGa_{1-x}Al_yN_{1-y}$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) より成ることを特徴とする請求項1乃至請求項3の何れか1項に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザの製造方法。

【請求項5】 前記共振器は、端面発光するメサ型のレーザのメサ部であることを特徴とする請求項1乃至請求項4の何れか1項に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザの製造方法。

【請求項6】 前記工程Aは、前記マスクaの前記傾斜角 θ を熱変成作用により、所望の角度に調整する熱変成工程(工程A1)を有することを特徴とする請求項1乃至請求項5の何れか1項に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザの製造方法。

【請求項7】 前記熱変成工程(工程A1)は、前記最上面の一部に形成された膜厚約300nm～3000nmのレジスト層a0を約170℃～230℃の温度下で、

約10分間～100分間

熱処理することにより、第1ハードベークレジスト層

(前記マスクa)を形成することを特徴とする請求項6に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザの製造方法。

【請求項8】 前記工程Bは、第2ハードベークレジスト層、金属層、及びソフトベークレジスト層を有する多層レジストを前記最上面、及び前記マスクaの上面に積層する多層レジスト積層工程(工程B1)を有することを特徴とする請求項1乃至請求項7の何れか1項に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザの製造方法。

【請求項9】 前記工程Bは、酸素プラズマを含むプラズマガスを用いたドライエッチングにより、前記マスクbを成形する工程(工程B2)を有することを特徴とする請求項1乃至請求項8の何れか1項に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザの製造方法。

【請求項10】 前記工程Cは、塩素系ガス、又は不活性ガス等による反応性イオンビームエッチング(RIBE)を行う工程(工程C1)を有することを特徴とする請求項1乃至請求項9の何れか1項に記載の III族窒化物系化合物半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、フリップチップ型の III族窒化物系化合物半導体レーザの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】公開特許公報「特開平10-233549：窒化物半導体レーザ」、「特開平10-200213：窒化ガリウム系半導体レーザ」等に記載されている半導体レーザでは、電流効率が効率よく発生させるために、発光部(共振器)が略垂直に立脚している。

【0003】また、これらの半導体レーザでは、正電極のヒートシンクに対する接着面と、負電極のヒートシンクに対する接着面とを略同じ高さにすることにより、半導体素子をヒートシンクに制御性や再現性が良く容易に、安定した状態で確実に融着できる様な工夫がなされている。

【0004】これらの従来の半導体レーザとしては、共振器(発光部)や負電極積層部(侵食残骸部)が垂直に立脚している構造のものが多く見られる。しかし、上記の様な両電極が略同じ高さの半導体レーザを製造する場合、図1に示す様に負電極107を積層する面(図1のE、中等の露出面)の一部(側壁)を傾斜させることにより、更に、以下の利点が得られることが判ってきている。

【0005】(利点1)負電極107を積層する面の垂直方向の落差が、形成される負電極(金属層)の膜厚に対して比較的大きい場合にも、この面(側壁)に負電極

(3)

特開2001-160657

3

4

(金属層)をムラなく一定の厚さに形成することができ

る。
(利点2)このため、露出された半導体層の側壁(傾斜面φ)にも負電極を真空蒸着等により比較的短時間で形成することが容易となり、負電極の断線による接続不良や負電極の高抵抗化等の不具合が発生する恐れがなくなる。

(利点3)更に、側壁(傾斜面φ)に形成される金属層(負電極)の面積が広くなると共に、発光部(共振器)と侵食残骸部との間の空間が大きくなるため、放熱効果

が向上する。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図1に示す様な傾斜面φを有する構造の半導体素子を形成する場合、共振器側の傾斜角(略90°)と侵食残骸部(負電極を形成するテーパー部)側の傾斜角φとを大きく異ならせる必要が生じるため、発光部(共振器)と侵食残骸部とを同じ工程で同時に形成することは困難であった。

【0007】このため、従来技術では、図1に示す様な傾斜面φを有する構造の半導体素子を形成する場合、共振器と侵食残骸部とをそれぞれ別工程で形成する必要があった。しかし、これらをそれぞれ別工程で形成する場合、レジストマスクの形成工程やエッチング工程等の類似又は同等の工程を何度も繰り返さなくてはならず、生産性が低かった。また、上記の傾斜角φを所望の値に製造(制御)することが難しく、この傾斜角φの値は、個々の製品に渡りバラツキが生じ易かった。

【0008】本発明は、上記の課題を解決するために成されたものであり、その目的は、負電極の断線による接続不良や負電極の高抵抗化等の不具合が発生する恐れが無い半導体レーザを効率よく製造(生産)する方法を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するためには、以下の手段が有効である。即ち、第1の手段は、基板の上にIII族窒化物系化合物半導体から成る複数の半導体層を積層し、周辺部分をエッチングにより除去することにより形成された垂直で平頂な共振器と、エッチングの対象とされずに残された、傾斜角φ(0<φ<90°)の傾斜面φを有する侵食残骸部とを備えたフリップチップ型の半導体レーザの製造過程において、上記の半導体層の最上面に、傾斜角θ(0<θ<90°)の傾斜面φより構成されたテーパー状の周辺部を有するマスクaを形成する工程Aと、最上面、及び/又は、マスクaの上面に、マスクbを形成する工程Bと、マスクa、及びマスクbを用いて半導体層をエッチングする工程Cとを順次実行することにより、共振器と侵食残骸部とを同じエッチング工程で同時に成形することである。

【0010】ただし、上記の工程Bにおいては、必ずしもマスクaの上面には、マスクbを形成し無くとも良

い、マスクaの上面に形成するマスクbは、侵食残骸部の平頂部の平坦度を維持することにより、半導体層と負電極との接触抵抗、又はこの負電極のオーミック特性を良好に保つためのものである。従って、マスクaの露さ方向の侵食進行速度Rがマスクaの全面に渡り略均一な場合、或いは、図1の傾斜面φやn型III族窒化物系化合物半導体層103と蒸着等により結合される負電極107との接触抵抗、又はこの負電極のオーミック特性が良好に確保できる場合には、必ずしもマスクbをマスクaの上面に形成しなくとも良い。この様な場合においても、後から詳述する本発明の作用・効果を得ることができる。

【0011】また、上記のマスクa、及びマスクbの材料としては、例えば、ノボラック系樹脂、ゴム系樹脂、或いは、ポリイミド等が挙げられる。

【0012】また、第2の手段は、上記の第1の手段において、共振器の最上面の高さと、侵食残骸部の最上面の高さとを略同じ高さに維持することである。これにより、半導体素子を安定した状態でヒートシンク等の回路基板に接合することが可能となる。

【0013】また、第3の手段は、上記の第1又は第2の手段において、傾斜角φの正接に対する傾斜角θの正接の比βと、工程Cでのエッチングにおける、半導体層の侵食進行速度rに対するマスクaの侵食進行速度Rの比αとを略一致させることにより、傾斜角φを所望の角度に制御することである。

【0014】尚、この傾斜角φ(0<φ<90°)は、概ね20°~85°程度で十分に効果的であるが、望ましくは40°~70°程度が良い。また、更により望ましい値としては、60°前後が理想的である。この傾斜角φが小さ過ぎると、負電極が必要以上に広くなり、半導体の歩留りが劣化する。また、この傾斜角φが大き過ぎると、半導体レーザが従来の構造(φ≒90°)と略同じとなり、前記の利点1~3が得られなくなる。即ち、上記の第3の手段の「所望の角度」とは、半導体レーザを製造する上でこれらの条件を鑑みた効果的、好適、又は最適な角度のことである。

【0015】また、第4の手段は、上記の第1乃至第3の何れか1つの手段において、III族窒化物系化合物半導体をIn、Ga、Al、...、N(0≤x, 0≤y, x+y≤1)より形成することである。

【0016】また、第5の手段は、上記の第1乃至第4の何れか1つの手段において、上記の共振器を端面発光するメザ型のレーザのメザ部として構成することである。

【0017】また、第6の手段は、上記の第1乃至第5の何れか1つの手段の工程Aにおいて、マスクaの傾斜角θを熱変成作用により、所望の角度に調整する熱変成工程(工程A1)を設けることである。

【0018】また、第7の手段は、上記の第6の手段の

5

熱酸化工程（工程A1）において、半導体層の最上面の一部に形成された膜厚約300nm～3000nmのレジスト層aを約170℃～230℃の温度下で、約10分間～100分間熱処理することにより、第1ハードベークレジスト層（マスクa）を形成することである。

【0019】ただし、上記の第7の手段における熱処理実施条件は、「レジスト層a0の膜厚が約100nm～10000nm、熱処理温度が150℃～280℃、熱処理時間が約3分間～120分間」成る範囲内において適用可能である。また、例えば、ノボラック系樹脂よりマスクa、及び、マスクbを成膜する場合には、「レジスト層a0の膜厚が約800nm、熱処理温度が200℃、熱処理時間が約30分間」とすれば好適な熱処理条件下で上記の熱変成工程（工程A1）を実施することができる。

【００２０】また、第８の手段は、上記の第１乃至第７の何れか１つの手段の工程Ｂにおいて、第２ハードベークレジスト層、金属層、及びソフトベークレジスト層を有する多層レジストを半導体層の最上面、及びマスクａの上面に積層する多層レジスト積層工程（工程Ｂ１）を設けることである。

【0021】また、第9の手段は、上記の第1乃至第8の何れか1つの手段の工程Bにおいて、酸素プラズマを含むプラズマガスを用いたドライエッチングにより、マスクBを成形する工程（工程B2）を設けることである。ドライエッチング用のプラズマガスに酸素プラズマガスを含めることにより、更に、エッチング時間を短縮することが可能となる。

$$\rho \equiv \tan \theta / \tan \phi.$$

$$\gamma \equiv \mathbb{R} / r.$$

$$\beta = \hbar / h = r$$

【0026】従って、侵食残骸部の傾斜面 ϕ の傾斜角 ϕ は、次式(2)に示す様に、マスクaの周辺部の傾斜面 θ の傾斜角 θ と、半導体層cの侵食進行速度 r と、マス※

$$\phi = \tan^{-1} \{ r (\tan \theta) / R \}$$

この様な方法により、侵食残骸部の傾斜面の傾斜角 ϕ を制御することが可能である。

【0027】また、共振器（発光部）を形成すべき位置の半導体層10の最上面2に直接、周辺部の傾きが垂直なマスク1を上記のマスク10とは別個に積層すれば、上記の工程Cにおいて、同一のエッチング工程により、更に、図1に示す様な略垂直に立脚する共振器（発光部）を同時に形成することが可能となる。

【0028】この様に、傾斜面④を有するマスクaを侵食残骸部の方だけに設けることにより、図1に示す様な略垂直に立脚する共振器（発光部）と、傾斜角 ϕ （ $0 < \phi < 90^\circ$ ）の傾斜面④を有する侵食残骸部とを同じエッチング工程で同時に成形することが可能となり、これにより、半導体レーザの生産性を向上することができる。

*【0022】更に、第10の手段は、上記の第1乃至第9の何れか1つの手段の工程Cにおいて、塩素系ガス、又は不活性ガス等による反応性イオンビームエッチング(RIBE)を行う工程(工程C1)を設けることである。反応性イオンビームエッチングの塩素系ガスに不活性ガスを含めることにより、更に、エッチング時間を短縮することが可能となる。以上の手段により、前記の課題を解決することができ、

[0023]

10 【作用及び発明の効果】図2は、本発明の工程Cの作用を示す幾何学的な説明図である。図1の半導体層102～105に対応する半導体層αの最上面Σには、傾斜角 θ ($0 < \theta < 90^\circ$) の傾斜面Θにより構成されたテーパ状の周辺部を有する膜厚Hのマスクaが形成されている。また、マスクaの上面には、マスクaよりも耐熱性の高いマスクbが形成されている。

【0024】これらのマスクa、bを用いて共振器（発光部）と侵食殘餘部とを成形するためのエッチング（工程C）を実施する際の、半導体層αの単位時間当りの侵食進行速度をr、マスクaの侵食進行速度をRとする。本エッチング（工程C）を開始してから、時間 $\tau/2 = H/2R$ 後の半導体層αの断面図を図2（b）に、 $\tau = H/R$ （ $= h/r$ ）後の半導体層αの断面図を図2（c）にそれぞれ示す。

【0025】本図2から判る様に、これらの侵食進行速度 r 、 R と、侵食残骸部の傾斜角 ϕ との間には、次式(1)に示す関係が成り立つ。

【致】

... (1)

※ Q_a の侵食進行速度 R により決定することができる。

【例2】

.. (2)

【0029】尚、食食残骸部の傾斜面中の傾斜角 ϕ を60°前後の所望の値に設定するためには、工程Aの熱変成工程A1において、半導体層の最上面Σの一部に形成された膜厚約300nm~3000nmのレジスト層aを約170℃~230℃の温度下で、約10分間~100分間熱処理することにより、マスクa（第1ハードベークレジスト層）を形成すればよい。

【0030】例えば、 $\gamma = 1/3$ の時、 $h = 3 \mu\text{m}$ 、 $\phi = 60^\circ$ なる侵食残骸部を形成するためには、(1)より、 $H = 1 \mu\text{m}$ 、 $\theta = 30^\circ$ とすれば良いことが判る。この様なマスクaを形成するためには、工程Aで、膜厚約 $1 \mu\text{m}$ のレジスト層a0を成膜後、レジスト層a0の必要部分だけを残り、更に、熱変成工程A1における熱処理温度Tを約 200°C 、熱処理時間tを約30分とすれば良いことが実験的に確認されている。

(5)

特開2001-160657

7

8

【0031】また、上記の実施条件 ($H=1\mu\text{m}$, $\theta=30^\circ$) の近傍においては、傾斜角 θ の値は、熱処理温度 T ($^\circ\text{C}$) が高くなる程、また、熱処理時間 t (分) が長くなる程大きくなる傾向にあることが実験的に確認されている。

【0032】尚、これらの作用・効果は、少なくともAl, Ga, In, ..., N ($0\leq x$, $0\leq y$, $x+y\leq 1$) にて表される2元素、3元素若しくは4元素の半導体から成る半導体層が積層されたIII族窒化物系化合物半導体レーザ一般に対して得ることができる。また、I 10 II族元素の一部は、ボロン(B)、タリウム(Tl)で置き換えても良く、また、窒素(N)の一部をリン(P)、砒素(As)、アンチモン(Sb)、ビスマス(Bi)で置き換えても良い。

【0033】また、これらの半導体層を結晶成長させる方法としては、分子束気相成長法(MBE)、有機金属気相成長法(MOCVD)、ハライド気相成長法(HVPE)、液相成長法等が有効である。

【0034】

【発明の実施の形態】以下、本発明を具体的な実施例に 20 基づいて説明する。

〔第1実施例〕図1は、本第1実施例のIII族窒化物系化合物半導体レーザ100の模式的な斜視図である。本図において記号IIは、端面発光型の共振器の平頂部を表し、記号Iは、侵食残骸部(負電極積層部)の半導体の最上層の上面を表しており、記号Φは、エッチングにより傾けて露出された侵食残骸部の側面、即ち、傾斜角Φの傾斜面(テーパ部)を示している。本共振器は、端面発光するメサ型のレーザ(半導体レーザ100)のメサ部として構成されている。

【0035】サファイア基板101の上には、窒化アルミニウム(AlN)から成るバッファ層102が積層されている。更にその上には、シリコン(Si)ドーパのGaNから成る高キャリア濃度 n^+ 層、ノンドープの $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ から成る中間層、及びGaNから成る n 型クラッド層の順に積層された、これら計3層の半導体層より成る n 型層103が形成されている。

【0036】更にその上には、公知の端面発光型レーザに見られる端面発光型の活性層104が形成されている。

【0037】この活性層104の上には、GaNから成るキャップ層、マグネシウム(Mg)ドーパの p 型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ から成る p 型クラッド層、及びMgドーパの p 型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ から成る p 型コンタクト層の順に積層された、これら計3層の半導体層より成る p 型層105が形成されている。

【0038】後で詳述するエッチング工程により、 n 型層103は、上方(p 型層105側)からの侵食作用でその一部が露出されており、これにより、平頂な共振器部分(発光部)と侵食残骸部(テーパ部)とが形成され 50

ている。

【0039】共振器の平頂部(p 型層105)の上には、ニッケル(Ni)より成る正電極106が、蒸着により成膜されている。ただし、正電極106は、ニッケル(Ni)以外にも、例えば、ロジウム(Rh)等から形成しても良い。露出した n 型層103の露出部から傾斜した半導体層の側壁(上記のテーパ部)を経て、侵食残骸部の半導体の最上層の上面にかけては、ニッケル(Ni)より成る負電極107が、蒸着により成膜されている。

【0040】このテーパ部の傾斜は垂直に切り立っている他の側壁に比べ、十分になだらかなため、このテーパ部にはもうなく十分に膜厚のある負電極107が形成されている。このため、上記の正電極106と負電極107の両者は略同じ膜厚に形成されている。

【0041】本実施例における端面発光型半導体レーザ100の構成は、以上の通りである。以下、上記の端面発光型半導体レーザ100の製造方法を、本発明の手段を用いたエッチング工程を中心に説明する。

【0042】上記の半導体レーザ100の半導体結晶(多層構造のウエハ)は、有機金属化合物気相成長法(MOVPE)による気相成長により結晶成長されたものである。ここで用いられたガスは、 NH_3 と、キャリアガス H_2 、又は N_2 と、トリメチルガリウム($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$)と、トリメチルアルミニウム($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$)と、トリメチルインジウム($\text{In}(\text{CH}_3)_3$)と、シラン(SiH_4)と、シクロペンタジエニルマグネシウム($\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$)である。

【0043】ただし、これらの半導体層を結晶成長させる方法としては、上記の有機金属化合物気相成長法(MOVPE)の他にも、分子線気相成長法(MBE)、ハ 30 ライド気相成長法(HVPE)等が有効である。

【0044】この様な半導体の結晶成長により得られた多層構造のウエハに対して、次に、電子線照射装置を用いて、その p 型半導体層の低抵抗化処理を実施した。即ち、 p 型III族窒化物系化合物半導体層105に一様に電子線を照射した。電子線の照射条件は、加速電圧約10kV、試料電流1 μA 、ビームの移動速度0.2mm/sec、ビーム径60 $\mu\text{m}\phi$ 、真空度 5.0×10^{-7} Torrである。ただし、この様な低抵抗化処理は、熱 40 アニール、 N_2 プラズマガス中での熱処理、レーザ照射等によって行ってもよい。

【0045】以上の様にして、 p 型層低抵抗化処理済みの多層構造のウエハ(III族窒化物系化合物半導体結晶)を得た。以下、本発明の特徴であるエッチング工程、即ち、前記の工程A、工程B、及び工程Cを順次実行することにより、発光部(共振器)と侵食残骸部(負電極積層部)とを同じエッチング工程で同時に成形する方法について、具体的に説明する。

【0046】(工程A)図3に、本実施例における工程Aの説明図を示す。図3(a)のサファイア基板101

の上には、III族窒化物系化合物半導体(1n, Ga, Al, ..., N ($0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$))より成る半導体層 σ が積層されている。ただし、この半導体層 σ は、図1の複数の半導体層(バッファ層102、n型III族窒化物系化合物半導体層103、活性層104、p型III族窒化物系化合物半導体層105)が順次積層されることにより形成されたものである。以下、図1の半導体レーザ等に見られるこれらの半導体層102~105を総括的に「半導体層 σ 」と言う場合がある。また、この半導体層 σ の最上面のことを単に「最上面 Σ 」

と言う場合がある。
【0047】前記の低抵抗化処理後に得られた多層構造のウエハ(III族窒化物系化合物半導体結晶)の断面図を図3(a)に示す。本工程Aでは、まず最初に、図3(a)の半導体層 σ の最上面 Σ の全面に一樣にフォトリソグレイスを塗布し、フォトリソグラフ工程により、図3(b)に示す様に、膜厚約1 μ mのレジスト層a0を半導体層 σ の侵食残骸部に対応する最上面 Σ に残した(図3(a)→(b))。

【0048】(工程A1):熱変成工程(図3(b)→(c))

次に、上記のレジスト層a0を熱処理温度約200℃で約30分間熱処理(ハードベーク処理)した。本熱処理により、レジスト層a0は熱変成され、この熱変成作用により、図3(c)に示す様に、傾斜角約30°の傾斜面 Θ をその周辺部として有するマスクa(第1ハードベークレジスト層)が形成された。

【0049】(工程B)(工程C)図4に、本実施例における工程Bの説明図を示す。

(工程B1):多層レジスト積層工程(図4(a)→(b))

工程A1終了後、マスクaの上面と傾斜面 Θ 、及び半導体層 σ の露出面(最上面 Σ)に、一樣にフォトリソグレイスを塗布し、所定の熱処理を実施することにより、膜厚約1.3 μ mの第2ハードベークレジスト層b0を形成した。これによりRIBE(後述の工程C1)における耐蝕性が高いレジスト層が形成された。

【0050】更に、第2ハードベークレジスト層b0の上面に、チタン(Ti)を蒸着することにより、膜厚約50nmの金属層cを積層した。その後、更に、金属層cの上面に一樣にフォトリソグレイスを塗布し、所定のフォトリソグラフ工程、熱処理工程を経て、図4(b)に示す位置、即ち、メサ部(共振器)及び侵食残骸部(テーパー部)を形成すべき位置に、膜厚約1.3 μ mのソフトベークレジスト層dを形成した。

【0051】(工程B2):プラズマガスによるエッチング工程(図4(b)→(c))

その後、プラズマエッチング装置により、以下のドライエッチングを実施した。即ち、まず最初に、図4(b)のウエハをプラズマエッチング装置の反応室の所定の位

置(電極間の台座)に配置し、反応室内を真空度が 1×10^{-1} Torr以下になるまで排気しする。次に、Cl₂ガスを流速7.5cc/分に、また、Arガスを流速21cc/分に、それぞれ制御して反応室に導入する。ただし、この時、反応室の真空度は正圧に0.02Torrに調整する。

【0052】そして、電極間に0.2 W/cm² (400W)の高周波電力を供給することにより、電極間でのグロー放電を開始する。これにより、導入されたCl₂ガス、Arガスはプラズマ状態となり、このプラズマガスによりエッチングが進行する。次にO₂ガスを導入し、ハードベークレジストをエッチングする。

【0053】約30分間、エッチングを行った結果、図4(b)のウエハは、ソフトベークレジスト層dに覆われた部分では、第2ハードベークレジスト層b0(マスクb)の上面が露出するまでエッチングが進行し、ソフトベークレジスト層dに覆われていない部分では、半導体層 σ の最上面 Σ が露出するまでエッチングが進行した。以上の工程B2により、図4(b)のウエハは、図4(c)の形状になるまでドライエッチングされた。

【0054】(工程C)図5に、本実施例における工程Cの説明図を示す。

(工程C1):RIBE工程(図5(a)→(b))

次に、マスクa、又はマスクbに覆われていない最上面 Σ より、p型III族窒化物系化合物半導体層105、活性層104、及び、n型III族窒化物系化合物半導体層103の一部をドライエッチング(RIBE)した。

【0055】本エッチング処理は、真空度0.04 Torr、高周波電力0.44 W/cm² 成る条件下で、Arガス及びCl₂ガスを供給することにより実施した。この時の半導体層 σ の侵食進行速度rは、約0.03 μ m/分、マスクaの侵食進行速度Rは、約0.01 μ m/分、両者の比 γ ($=R/r$)は約1/3であった。その後、このエッチングによる露出面を更に、Arガスを用いてドライエッチングした。

【0056】これらのドライエッチング工程で、n型III族窒化物系化合物半導体層(高キャリア濃度n⁺層)103に対する負電極107の蒸着面が露出された。上記のArによるエッチングは、この蒸着面の接触抵抗とオーミック特性を良好にするため、上記の塩素系ガスによるドライエッチング(RIBE)の後処理として行ったものである。その後、マスクa、及びマスクbを溶剤により除去した。

【0057】以上の工程C1により、図5(b) (及び図1)に示す様に、略垂直に立脚した共振器(メサ部)と、傾斜角 ϕ が約60°の傾斜面 Φ を有する侵食残骸部(テーパー部)とを同時に形成した。

【0058】次に、ウエハの上全面に一樣にMnを蒸着することにより、膜厚約1.5 μ mの金属層を成膜し、フォトリソグレイス工程、フォトリソグラフィ工程、エッチング工程を経て、図1に示す様に、共振器の平頂部H

(7)

特開2001-160657

11

(p型III族窒化物系化合物半導体層105)に正電極106を形成し、同時に、n型半導体層(高キャリア濃度n⁺層)103の露出面の一部、傾斜面Φ、及び半導体最上層の上面Σに負電極107を形成した。

【0059】その後、上記の如く処理されたウエハをレーザの共振器の長さ方向(y軸方向)に沿ってスクライビングしてスクライブ溝を形成し、共振器の端面に平行なx軸方向にダイシングして、短冊片を得た。

【0060】尚、上記の実施例の製造方法においても、端面間の平行度、基板101に対する垂直度、及び端面の平坦度の良い共振器端面が得られるが、以下に示す様に、共振器端面形成後に、更に、共振器端面を整形するためのドライエッチングを行っても良い。

【0061】(a)まず、ウエハの上部に露出している全上面に一様にフォトリソグرافィにより、共振器の各端面近傍の以下に説明する図略の領域Sのフォトリソグرافィを除去する。即ち、この領域Sとは、図1のx軸方向を長手方向とし、y軸方向にストライプ幅を有するストライプ状の矩形領域であり、共振器とy座標が重ならない領域、及び、共振器の両端面とy座標が略一致する領域である。このフォトリソグرافィ工程により、整形後の共振器部分をx軸に沿って覆い隠すレジストマスクが残される。

【0062】(b)次に、真空度1mTorr、高周波電力300WでCl₂ガスを5ml/分の割合で供給し、レジストマスクで覆われていないストライプ状の上記の領域Sをサファイア基板101が露出するまで、反応性イオンビームエッチング(RIBE)によりドライエッチングする。

【0063】この様に、反応性イオンビームエッチング(RIBE)を実施することで、共振器端面の鏡面精度をさらに向上させることができる。このような共振器端面を形成するためのエンチング(RIBE)工程のマスクには、フォトリソグرافィの他、SiO₂等のドライエッチングに対する耐エッチング性があり、下層の電極に対して、選択的にエッチング又は剥離できるもの等を採用することができる。

【0064】又、RIBEの反応性ガスにはCl₂の他、BCl₃、SiCl₄、CCl₄等の塩素系ガスを用いることもできる。さらに、ドライエッチングにはRIBEの他、反応性イオンエッチング(RIE)、イオンビームアシストエッチング(IBE)でも良い。

【0065】或いは、更に、これらの端面の仕上げ加工として、アルゴン(Ar)等を用いて行われるガスクラスタイオンビームエッチング等を行っても良い。また、本ドライエッチング工程に用いるガスとしては、ヘリウム(He)、ネオン(Ne)、クリプトン(Kr)、キセノン(Xe)、ラドン(Rn)、窒素(N₂)等の不活性ガス、或いは、CO₂ガス等を用いても良い。このようなガスクラスタイオンビームエッチングは、例えば、素子を形成したウエハを端面に並行に短冊状に切断して、その短冊状の片を立てて、

12

この端面を上に向けて水平にした状態で実行することができる。

【0066】次に、共振器端面を保護するために、共振器端面にSiO₂をスパッタリングにより蒸着した。そして、各短冊片をローラで押圧して、既に、y軸方向に沿って形成されているスクライブ溝を利用して、各素子チップに分離した。

【0067】ただし、共振器の端面には、SiO₂等の酸化珪素、Si₃N₄等の窒化珪素、又は、その他のTiO₂等の誘電体等による多重層を形成しても良い。このような多重層の各層の厚さを最適に設計することで、共振器端面での反射率をさらに向上させることができる。

【0068】以上の様に、侵食残部(負電極積層部)がテーパー形状のIII族窒化物系化合物半導体レーザ100を構成し、ヒートシンク等の回路基板上に接続すれば、本レーザ100は傾かず、安定して随在にヒートシンク上に固定することができる。また、負電極107は広面積を持ち、幅広くヒートシンクと接合することができる。この構成により、本レーザ100においては、高い放熱効果を得ることが可能である。

【0069】また、本レーザ100においては、エッチング等により露出された半導体層の側壁が斜めに形成されており、この側壁に負電極をムラなく一定の厚さに形成することが容易なため、接続不良や負電極の高抵抗化等の不具合が発生せず、量産される全製品に渡って駆動電圧が安定する。

【0070】以上の手順により、前記の利点1～3を有する半導体レーザ100を従来よりも効率よく量産することができる。

【0071】(第2実施例)図6は、本第2実施例(応用事例)を示すIII族窒化物系化合物半導体レーザ300の模式的な斜視図である。本レーザ300は、面発光型の共振器を2つ備えており、n型層303、活性層304、p型層305の計3層は、それぞれ公知の面発光型レーザに見られる面発光に好適な半導体層が形成されている。

【0072】本レーザ300のその他の構成要素には、特に、前記のレーザ100との大きな差異がないものについては、各々同一の記号を付している。

【0073】図6から判る様に、本レーザ300の正電極106と負電極107の間には、レーザ100と同様に、十分な間隔が確保されており、半田で接続する際に短絡の恐れが無い。ただし、本レーザ300は、面発光型であるため、図1のn型層103、活性層104、p型層105は、各々面発光型のn型層303、活性層304、p型層305と読み替えるものとする。

【0074】この様に、III族窒化物系化合物半導体レーザ300を構成し、接続することにより、本レーザ300においても、第1実施例のIII族窒化物系化合物半導体レーザ100と同様に、本発明の作用・効果を得る

13

ことができる。

【0075】尚、上記の各実施例におけるエッチング工程のマスクには、 SiO_2 の他、金属、レジスト等、ドライエッチングに対する耐エッチング性があり、下層のGaN系の半導体に対して選択的にエッチング又は剥離できるものなら採用できる。

【0076】また、p型半導体層105を電子線照射により低抵抗化した、このような低抵抗化処理は、熱アニーリング、 N_2 プラズマガス中での熱処理、レーザ照射によって行ってもよい。

【0077】また、上記の各実施例においては、n型層103/303およびp型層105/305は、それぞれ複数の層で構成してもよく、或いは、単数の層構成としても良い。また、活性層、及びその他の層は、一般式「 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_y\text{N}$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$)」より成る任意の混晶比の4元、3元、2元系のIII族窒化物系化合物半導体として良い。

【0078】また、アクセプタ不純物元素には、亜鉛の他、II族元素又は、IV族元素を使用でき、ドナー不純物元素には、シリコンの他、IV族元素、VI族元素を用いることができる。

【0079】また、上記の実施例における活性層104の構造は、多重量子井戸(MQW)構造であったが、活性層104の構造は、単一量子井戸(SQW)構造であっても良い。

【0080】また、本発明の各手段は、前記の第2実施例でも示した様に、面発光型の半導体レーザに対して適用した場合にも有効であり、或いは、テーパ部(傾斜面φ)を有する任意の形状の半導体発光素子を製造する場合においても、第1実施例の端面発光型の半導体レーザ100の場合と同様に、本発明の作用・効果を得ることができる。

【0081】尚、バッファ層は、AlNの他、Ga_xN_{1-x}、In_xN_{1-x}、Al_xGa_{1-x}N_{1-x} ($0 < x < 1$)、In_xGa_{1-x}N_{1-x} ($0 < x < 1$)、Al_xIn_xN_{1-x} ($0 < x < 1$)、Al_xGa_{1-x}In_xN_{1-x} ($0 < x < 1, 0 < y < 1, 0 < x+y < 1$)、その他、一般式Al_xGa_{1-x}In_yN_{1-x-y} ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$)において、III族元素のうちの一部をボロン(B)、タリウム(Tl)で置換しても良く、窒素の一部をリン(P)、砒素(As)、アンチモン(Sb)、ヒスファス(Bi)等で置換しても良い。さらに、Si等のn型ドーパント、Mg等のp型ドーパントが添加されていても良い。

【0082】また、バッファ層は、400℃～800℃の低温で形成するものの他、1000℃～1180℃の範囲で、MOCVD法で形成しても良い。この温度範囲は、1050℃～1170℃が望ましく、さらに、望ましくは、1100℃～1150℃である。サファイア基板の上に厚さ2.3μmのAlNから成るバッファ層を、

(8)

特開2001-160657

14

成長温度1050℃、1110℃、1130℃、1150℃、1170℃、1200℃の各温度で成長させ、その上に厚さ2μmのGa_xN_{1-x}を同一成長温度で形成して、そのGa_xN_{1-x}の表面モロロジーを光学顕微鏡で観察した。

【0083】その結果、1130℃でバッファ層を成長させた場合が、最も、Ga_xN_{1-x}の表面モロロジーが良く、次に、1110℃、1150℃で成長したものが良く、次に1050℃、1170℃で形成したものが良かった。1200℃で形成すると表面モロロジーが良くなかった。この表面モロロジーの結果から、バッファ層の成長温度は上記範囲が望ましい。

【0084】また、バッファ層は、MOCVD法、MBE法が使用できる。又、スパッタリングを使用することも可能である。DCマグネトロンスパッタ装置を用いて、高純度金属アルミニウムと窒素ガスを原料料として、リアクティブスパッタ法によりAlNから成るバッファ層を形成することもできる。

【0085】その他、金属アルミニウム、金属ガリウム、金属インジウム、窒素ガス又はアンモニアガスを用いて、上記(1)と同様に、一般に、「Al_xGa_{1-x}In_yN_{1-x-y} ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$, 組成比は任意)」成る2元、3元、或いは、4元の任意の組成のバッファ層を形成することが可能である。スパッタリングの他、蒸着法、イオンブレーティング法、レーザアブレーション法、ECR法を用いることができる。これらの物理蒸着法によるバッファ層は、200～600℃で行うのが望ましい。さらに望ましくは300～500℃であり、さらに望ましくは400～500℃である。

【0086】これらのスパッタリング法等の物理蒸着法を用いた場合には、バッファ層の厚さは、100～3000Åが望ましい。さらに望ましくは、100～2000Åが望ましく、最も望ましくは、100～3000Åである。このように形成されたバッファ層は、窒素ガスとアンモニアガスとの混合ガス雰囲気中で1000℃で5分間加熱処理して、バッファ層のRHEEDパターンを測定した。この結果、熱処理をしたバッファ層は、熱処理をしないバッファ層に比べて結晶性が改善される。

【0087】この熱処理の時の水素ガスとアンモニアガスの流量比は、1:0.1～1が望ましい。さらに望ましくは、1:0.1～0.5である。加熱温度は、1000～1250℃が望ましく、さらに望ましくは、1050～1200℃であり、最も望ましくは、1100～1150℃である。これらの加熱条件やガス比条件を各様変換させて、バッファ層のRHEEDパターンを測定した。この結果、上記の範囲の時に結晶性が良いことが分かった。これは、バッファ層の再結晶化により単結晶性が強くなったものと思われる。

【0088】又、このように形成されたバッファ層上に

(9)

特開2001-160657

15

厚さ4 μ mのGa_{0.4}NをMOCVD法で成長させ、そのGa_{0.4}NのロッピングカーブをX線回折装置を用いて測定した。その結果、この結果、このように熱処理されたバッファ層を用いた場合には、その上の結晶の単結晶性が、MOCVD法で基板上にバッファ層とGa_{0.4}Nとを成長させた場合と比べて、同等以上であった。このGa_{0.4}Nの単結晶性が良くなったのは、物理蒸着でバッファ層を形成した後、高温で熱処理したために、単結晶化がすすみ、単結晶化したバッファ層の上に形成されたGa_{0.4}Nの単結晶性も向上するものと思われる。

【0089】又、基板には、サファイア、スピネル、シリコン、炭化シリコン、酸化亜鉛、リン化ガリウム、砒化ガリウム、酸化マグネシウム、酸化マンガン、酸化ガリウムチタニウム(LiGaO₂)、酸化モリブデン(MoS)等の材料を用いることができる。

【0090】又、活性層において、井戸層と障壁層との成長条件は、830℃～930℃の範囲で、障壁層と井戸層との成長温度差 ΔT を、 $\Delta T \leq 50^\circ\text{C}$ とすることにより活性層の結晶性を向上させ得ることも分かった。障壁層の成長温度が井戸層の成長温度よりも高い方がより望ましい。

【図面の簡単な説明】

【図1】共振器と傾斜面 ϕ を有する侵食残骸部とを備えたIII族窒化物系化合物半導体レーザの斜視図。

【図2】本発明の工程Cの作用を示す幾何学的説明図。

【図3】本発明の実施例における工程A1等から成る工程Aの説明図。

【図4】本発明の実施例における工程B1、B2等から成る工程Bの説明図。

【図5】本発明の実施例における工程C1等から成る工程Cの説明図。

16

【図6】本発明の第2実施例（応用事例）を示すIII族窒化物系化合物半導体レーザの斜視図。

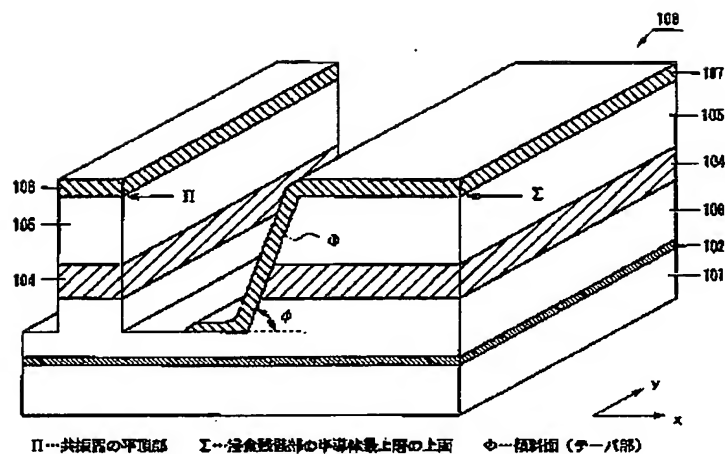
【符号の説明】

- 100, 300... III族窒化物系化合物半導体レーザ
 11 ... 共振器（発光部）の平頂部
 σ ... 半導体層（102～105の総称）
 Σ ... 半導体層 σ の最上面
 ϕ ... 侵食残骸部の傾斜面（テーパ部）
 ϕ ... 傾斜面 ϕ の傾斜角
 10 a ... マスク（第1ハードベークレジスト層）
 b ... マスク（第2ハードベークレジスト層）
 Θ ... マスクaの周辺部の傾斜面
 θ ... 傾斜面 Θ の傾斜角
 H ... マスクaの膜厚
 h ... 半導体層 σ のエッチング長（深さ）
 R ... マスクaの侵食進行速度
 r ... 半導体層 σ の侵食進行速度
 A ... マスクaを形成する工程（工程A1等から成る）
 20 B ... マスクbを形成する工程（工程B1、B2等から成る）
 C ... 半導体層 σ をエッチングする工程（工程C1等から成る）
 101 ... サファイア基板
 102 ... バッファ層
 103, 303... n型III族窒化物系化合物半導体層
 104, 304... 活性層
 105, 305... p型III族窒化物系化合物半導体層
 106 ... 正電極
 107 ... 負電極
 210 ... 絶縁膜

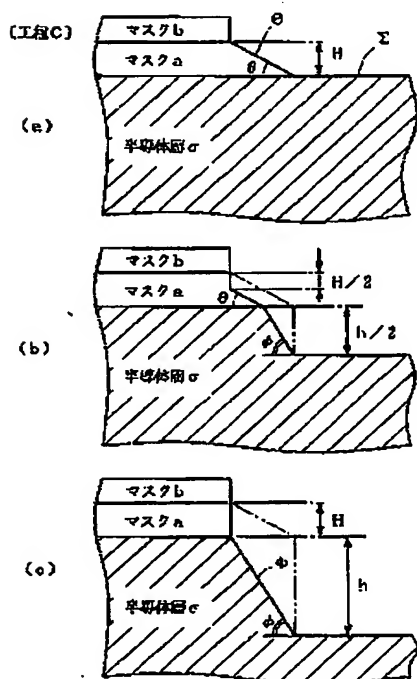
(10)

特開2001-160657

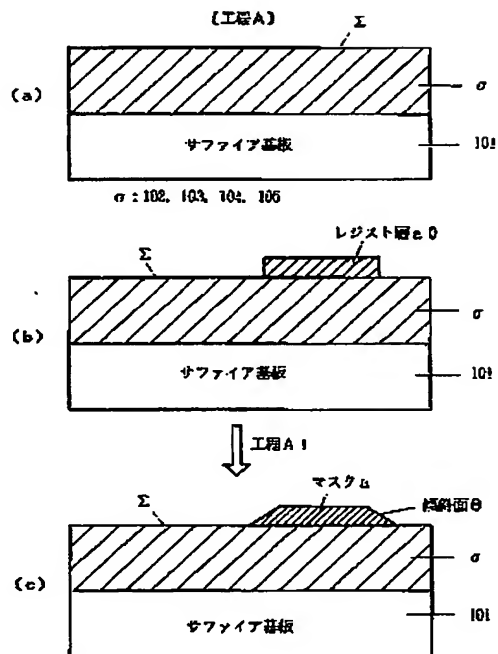
【図1】



【図2】



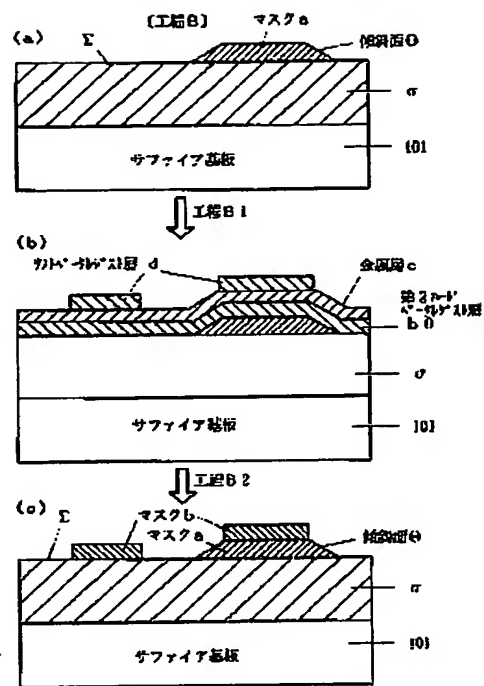
【図3】



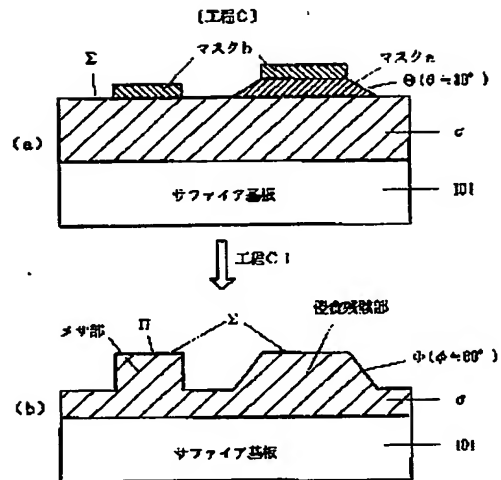
(11)

特開2001-160657

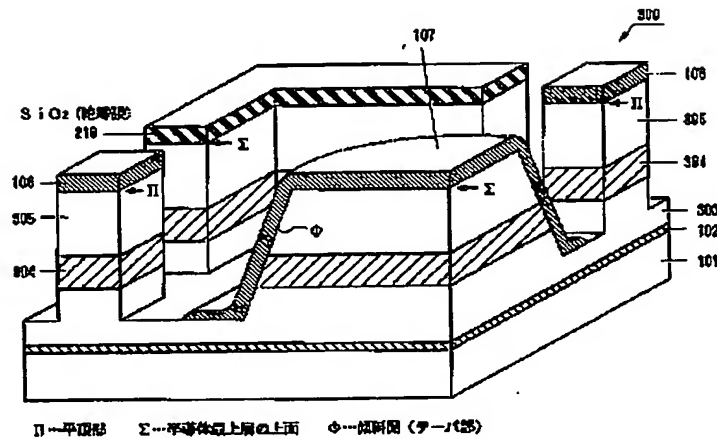
【図4】



【図5】



【図6】



(12)

特開2001-160657

フロントページの続き

(72)発明者 山崎 史郎
愛知県西春日井郡春日町大字落台字長畑1
番地 豊田合成株式会社内

F ターム(参考) 5F004 AA04 AA05 BA04 BA11 BB13
CA01 CA04 DA00 DA04 DA22
DA23 DA26 DB19 DB25 EA02
EA06 EB02
5F045 AA04 AB09 AB14 AB17 AB18
AC01 AC08 AC12 AC19 AF02
AF03 AF04 AF09 BB12 CA12
DA53 DA55 HA02 HA13 HA16
HA18 HA19
5F073 AA74 CA17 CB05 CB07 DA05
DA25 FA11